

基于 IPv6 无线传感器网络的室内 照明控制系统

崔 英^{1,2}, 张宏科^{1,2}, 秦雅娟^{1,2}, 郑 涛^{1,2}

(1. 北京交通大学 电子信息工程学院, 北京 100044;

2. 北京交通大学 下一代互联网互联设备国家工程实验室, 北京 100044)

摘 要:物联网技术的进步为智能建筑未来的发展和应用指明了新的方向。结合无线传感器网络自组织、低成本以及灵活组网等特性,设计实现了一种传感器节点采用 IPv6 编址的新型室内照明控制系统。系统自动监测环境光照强度,感知人体靠近和远离状态,并根据检测结果及预设照明亮度条件智能判定照明设备应处状态,然后利用设备开关控制装置和红外控制技术自适应调整照明设备开关状态。无线传感器网络将照明控制状态以无线传输方式告知支持 Web 远程监控的服务器,实现了照明控制系统的灵活管理。

关键词:物联网;智能建筑;IPv6 传感器网络;照明系统

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2011)12-0230-05

Design and Implementation of Indoor Lighting Control System Based on IPv6 Wireless Sensor Network

CUI Ying^{1,2}, ZHANG Hong-ke^{1,2}, QIN Ya-juan^{1,2}, ZHENG Tao^{1,2}

(1. School of Electronic Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

2. National Engineering Laboratory for Next Generation Internet Interconnection Devices,
Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: The progress of internet of things technology brings forth new ideas to the development of intelligent building in the further. Wireless sensor network has some unique features, such as self-organizing, low-cost and flexible networking. According to these features, an indoor lighting control system based on wireless sensor network is designed and implemented, which applies IPv6 addresses to label the sensor nodes. The system can automatically detect environmental light intensity, perceive the location of people, and intelligently determine the reasonable lighting state according to the results and lighting conditions, then adaptively adjust lighting states using infrared control technology and device switches. Wireless sensor network transmits the system status to a server supporting web remote monitoring, what makes the system achieve a flexible management.

Key words: internet of things; intelligent building; IPv6 sensor network; lighting control system

0 引 言

近年来,物联网的研究与开发受到社会各界的高度重视,物联网与照明控制的结合正在成为智能建筑、智能家居等行业发展的新亮点^[1]。无线传感器网络是物联网的重要组成部分,它能够协作地感知、监测和收集各种监测对象的信息并传递给观察者,在军事侦察、

环境监测、医疗卫生等领域具有广泛的应用前景^[2,3]。将 IPv6 技术与传感器网络相结合的 IPv6 无线传感器网络在节点编址、网络管理以及与其他网络融合等方面具有很大优势。IPv6 地址资源充足,能够保证所有节点全球地址唯一,既满足传感器网络大规模应用的需求,又便于未来实现传感器节点的统一远程管理和控制^[4]。随着全球网络向 IPv6 技术的演进,IPv6 传感器网络更有利于实现与其他网络的互联互通。

在此背景下,文中设计实现了一种基于 IPv6 无线传感器网络和红外控制技术的室内照明控制系统,系统利用无线传感器网络感知控制区域的光照亮度和人员位置,根据用户照明需求自动控制照明设备,同时支持用户通过 WEB 浏览方式随时随地查阅和调控系统

收稿日期:2011-05-09;修回日期:2011-08-15

基金项目:国家自然科学基金(60802016, 60972010)

作者简介:崔 英(1987-),女,硕士研究生,主要研究方向为无线传感器网络;张宏科,教授,博士生导师,主要研究方向为基于 IPv6 的路由协议、传感器网络技术;秦雅娟,教授,博士生导师,主要研究方向为无线传感器网络。

运行状态,进行远程监控。除照明设备供电采用有线布局外,节点通信及照明控制均采用无线方式,有效避免了传统控制方式布线复杂的缺陷^[5],提高了系统安装的灵活性,并有利于系统向其他控制应用的扩展。

1 系统架构

本系统由传感器节点、设备控制器、网关和服务器组成,系统整体架构如图 1 所示。

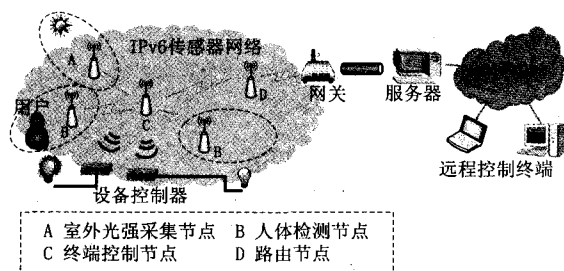


图 1 系统整体构架

传感器网络无线通信采用 IEEE802.15.4 标准,网关和节点设备编址采用全球唯一的 IPv6 地址。智能照明控制通过以下方式实现:

1. 室外光强采集节点周期性地向终端控制节点汇报自然光强,人体检测节点感知各检测范围内是否有人,人的位置状态发生改变时告知终端控制节点。

2. 终端控制节点是该系统照明控制的核心,将接收到的室外光强信息与自身采集的室内光强值进行智能分析,结合人的位置及用户预设照明条件综合裁决各个区域照明设备的开关状态。根据判定结果终端控制节点通过发射携带照明设备控制器编码的红外信号调整设备开关状态。此外,终端控制节点负责将环境光强值、节点工作状态、照明设备状态等信息封装成数据包,经路由节点无线传送给网关。

3. 网关通过以太网直连方式与服务器进行数据通信,服务器不仅可以系统状态本地可视化显示,而且支持用户随时随地 Web 访问获取,实现远程监控。此外,用户可以在照明系统显示界面进行照明亮度设置,修改终端控制节点照明判决条件。

文中主要研究传感器网络节点协调工作实现照明控制的硬件和软件工作原理,并简单介绍服务器信息处理流程和可视化实现原理,网关设计在此不进行讨论。

2 硬件设计

2.1 节点硬件设计

本系统传感器节点的硬件采用模块化设计思想^[6],主要包括处理器模块、无线收发模块、电源模块、功能模块,节点的硬件结构如图 2 所示。为使电路布

线简单、稳定性高、空间占用少,节点硬件电路划分为 3 层^[7],主板上集成处理器模块和无线通信模块,功能模块和电源模块分别作为一块电路板,通过双排针与主板连接。

本系统节点设备主处理器采用 ATmega128L,它外围电路简单、功能强大、可靠性高,具有 128kB 可编程 FLASH、4kB 的 EEPROM、4kB 的 SRAM^[6],满足本系统节点处理器的性能要求。无线收发模块由射频芯片 CC2420 及其外围电路组成,通过 SPI 接口与 ATmega128 数据通信^[8]。CC2420 工作在 2.4GHz,兼容 IEEE802.15.4 协议^[4]。电源模块采用 9V 电压,支持电池和直流电源两种供电模式。

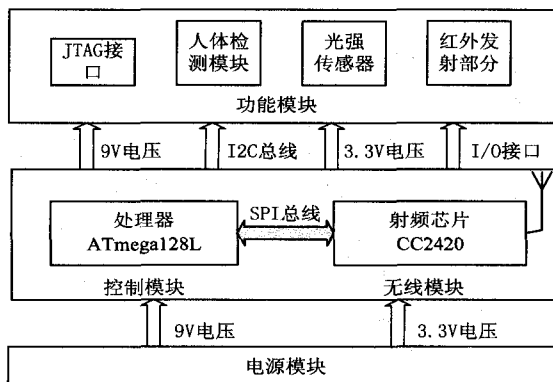


图 2 节点硬件结构

根据节点用途,功能模块可分为四种:路由节点功能模块、人体检测节点功能模块、室外光强采集节点功能模块、终端控制节点功能模块。为调试方便,各功能模块均集成用于在线调试的 JTAG 接口。路由节点功能模块只有 JTAG 接口。人体检测节点的功能模块增加热释红外感应器的供电电路和信号采集接口。热释红外感应器能够检测 5m 范围内人体的红外辐射,面积较小的房间只需安装一个检测节点,面积较大的会议室或客厅需要安装多个检测节点来感应人的具体位置,以便进行照明设备区域控制,避免能源浪费。室外光强采集节点和终端控制节点均采用 TAOS 公司的 TSL2561,该芯片具有低功耗、宽量程、高灵敏度、可编程灵活配置等优点,支持 I2C 接口协议。终端控制节点的功能模块还包括红外发射电路,用来发射设备控制器命令编码。

2.2 设备控制器硬件设计

设备控制器相当于设备开关,与被控对象有线连接,能够接受并执行传感器网络节点发出的红外控制命令,除了用于照明设备控制外,也可用作风扇、电视、微波炉等设备的控制开关。

本系统终端控制节点采用 38kHz 载波调制的红外编码作为控制命令,设备控制器需要接收、解调和识别该编码,并根据编码内容实现设备控制继电器的开合。

具体过程如下:红外接受解调器将检测到的指令编码发送给解码电路,完成解码的芯片能够鉴别命令的地址码是否与自身地址码吻合,如果地址码匹配就输出指令中数据码的电平,并且以此电平作为继电器开关信号。设备控制器的地址码通过拨码开关预设定。开关数字信号经放大电路放大后驱动固态继电器的开合,从而控制设备电源的通断。本系统采用固态继电器虽然增加了系统成本,但是由于固态继电器灵敏度高、输入功率小、使用寿命长,在开合过程中无机械接触,所以更有助于系统长期稳定的工作。电源模块采用 220V 交流电源供电,能够输出 5V 直流电压和设备供电电压。

3 系统软件设计

按照软件实现的功能可以将系统软件设计分成三大模块:服务器管理模块、信息采集模块和设备控制模块。服务器管理模块实现对系统状态的远程监控,信息采集模块主要进行室外光强采集和人体位置检测,设备控制模块负责获取信息采集结果、设置照明条件、智能发送红外命令及系统状态信息汇报。下面将分别介绍这三个模块的工作原理。

3.1 服务器管理模块

服务器是用户与控制系统信息交互的桥梁。它能够从网关获取无线传感器网络数据,并将其在控制界面上分类显示,也可以将用户设定的场景模式以数据包格式传送给网关和终端控制节点。为实现远程管理和控制,服务器采用基于 Web 的可视化管理方式^[9],使得用户可以通过浏览器随时随地访问本地服务器查询照明状态。服务器软件设计可以分为三大模块,如图 3 所示。

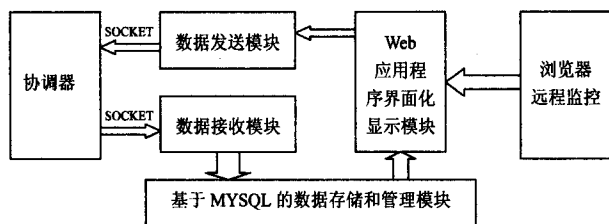


图 3 服务器软件设计结构

服务器采用 SOCKET 接口与网关通信,接收程序对监听到的数据包进行解析,并且将数据净荷分类写入 MySQL 数据库^[10]。Web 应用程序从该共享数据库获得光强值、灯具开关状态等信息,并将其显示在可视化界面。用户通过服务器界面设定的照明亮度阈值经数据发送模块进行组包,以 SOCKET 方式从固定端口传送给网关。

3.2 信息采集模块

如前所述,信息采集功能主要由室外光强采集节

点和人体检测节点实现。一般情况下,自然光照度变化微弱,室外光强采集节点每两分钟向控制节点发送一次光强数据,既满足了系统环境监测的需要,又减少了节点的能量消耗。当光强发生突变时,采集节点会立即启动光强数据发送机制,保证了系统的灵敏度。人体检测节点通过热释红外传感模块检测人体位置,当人体进入感应模块检测范围时,模块输出电平发生由低到高的突变,触发处理器的上升沿外部中断,从而节点得知有人到来。当人离开后,经过一定延时感应模块输出端电平将从高电平恢复到低电平,触发处理器的下降外部中断,告知节点检测范围内没有人体存在。

3.3 设备控制模块

设备控制的实现依赖于终端控制节点和设备控制器的协调配合,由于设备控制器只负责接收和执行终端控制节点的红外命令,所以照明控制是否合理取决于终端控制节点的设计是否科学。

完成初始化工作后,终端控制节点发起加入传感器网络请求,网关响应该请求,并且为终端控制节点分配独立的 IPv6 地址。入网成功后,终端节点首先检查是否收到来自服务器的控制命令,如果收到服务器的照明亮度设置命令,就修改相应区域的照明控制阈值,如果收到来自信息采集模块的信息汇报数据包,就执行数据包解析功能并将信息数据存入对应位置,以便进行照明控制裁决。

如果系统单独依据室内光强进行照明控制会出现频繁的开关灯现象,因为光强传感器不能分辨灯光和自然光,当室内光线较弱时,系统自动控制打开光源,灯光的亮度使得系统错误认为当前光照充足,无需开灯。为避免这一现象,照明控制判决依据室外光强值和室内光强值的最小值,只有最小值低于照明亮度阈值下限才认为需要打开光源,最小值高于照明阈值上限则认为无需设备照明。考虑到白天用户可能关闭窗帘、人为造成室内光线不足,需要将终端控制节点安装在拉上窗帘能够遮盖的地方,使得终端控制节点能够感知白天窗帘的状态^[11]。终端控制节点软件工作流程如图 4 所示。

不同区域的开灯编码和关灯编码由软件编程实现,并且存储在不同的位置。当光强值满足开灯条件、人体检测节点报告区域内有人,并且该区域设备处于关闭状态时,终端控制节点才会红外发送开灯编码;人体检测节点感知到人已经离开,或者光强值满足关灯条件,并且设备处于开启状态,终端控制节点就会发送关灯编码。如果设备状态发生改变,控制节点会立即向服务器发送节点状态数据包,提高了系统的灵敏度;如果设备状态没有改变,终端节点也会以 1 分钟为周

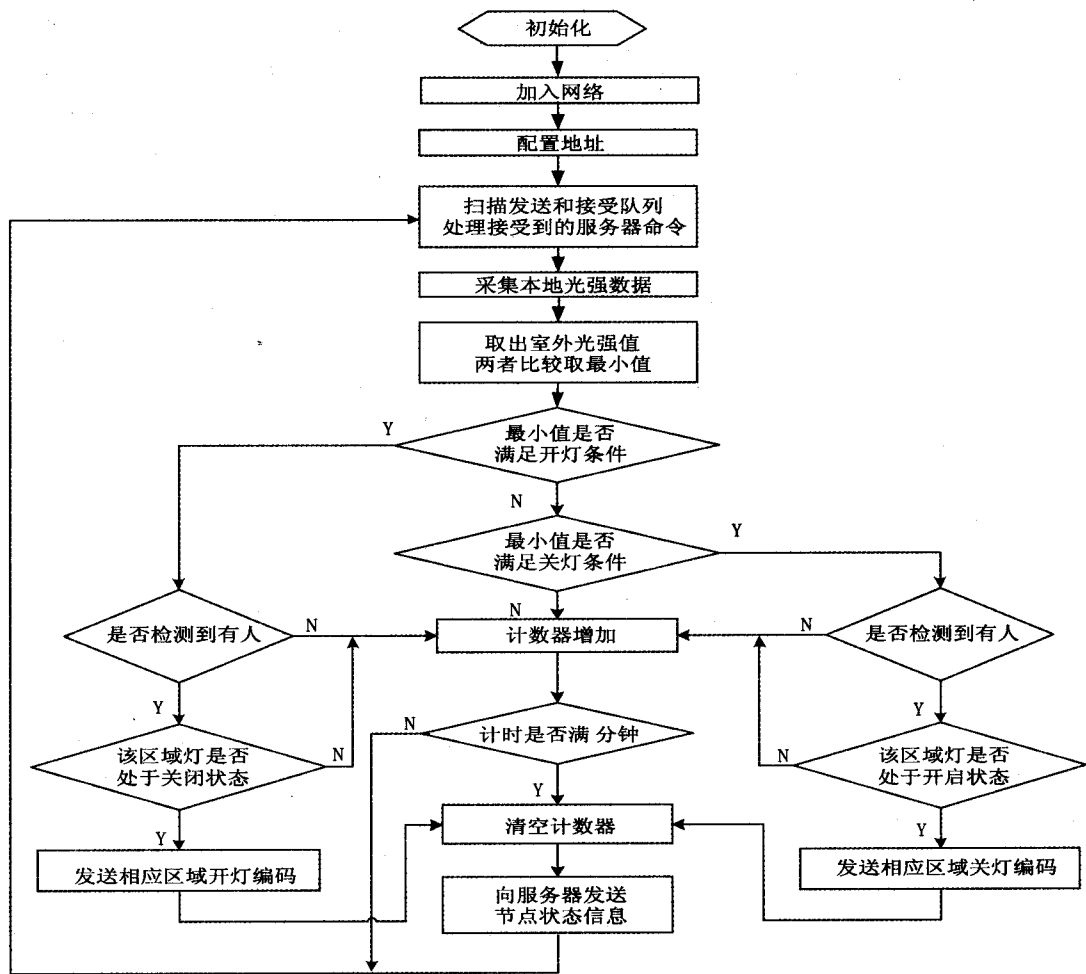


图 4 控制节点软件设计流程图

期向服务器循环发送节点状态数据包,保证服务器显示状态的实时性、准确性。此外,服务器还可以向特定终端控制节点发送节点状态查询命令使该终端控制节点立即汇报节点状态。

4 系统测试

系统测试环境如图 5 所示,无线传感器网络覆盖 3 个面积不同的房间,服务器和网关单独放置。根据房间面积对三个房间分别进行了区域划分,每个区域安装一个热释红外感应器。感应器探头的安装角度须根据实际环境进行调整,使探测范围覆盖整个房间且相邻感应器检测面积不重叠。另外,每个房间内布置一个终端控制节点,房间外安放一个室外光强采集节点;路由节点的位置和个数根据实际测试中数据链路质量动态放置;照明控制系统远程监控通过普通计算机浏览器访问服务器实现。

由于数据包无线发送遵循 IEEE802.15.4 协议,文中通过抓包工具对无线传输的各种数据进行了抓包验证,并且详细分析了房间 2 终端控制节点向服务器发送的状态报告数据包,抓包显示源地址:3F FE 32 40 80 07 12 09 41 19 63 92 47 00 00 00,目的地址为:3F

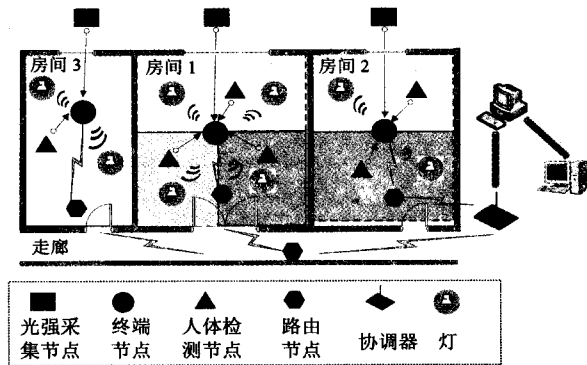


图 5 系统测试环境

FE 3 40 80 07 12 09 19 79 95 22 47 00 00 00,由此可以说明该传感器网络的节点和网关均采用 128 位 IPv6 地址。标志位显示状态为 01 01 01 01 02 00,前两位代表节点当前状态,01 表示当前节点工作正常,随后两位代表受控设备类型,01 是照明设备,后面每四位代表一个区域的设备状态,前两位是区域编号,后两位是状态标志,00 代表关,01 代表开。分析数据内容得出当前终端控制节点工作正常,区域 1 灯具开启,区域 2 灯具关闭,满足测试照明需求。与此同时,浏览器页面上照明控制界面所示房间 2 照明状态如图 6 所示,室内照度达到 589LUX,符合用户设定的 200 ~ 700LUX

亮度范围。此外,经过测试,用户通过界面进行的亮度范围设置能够正确发送给控制节点,实现不同阈值下的差异照明控制。

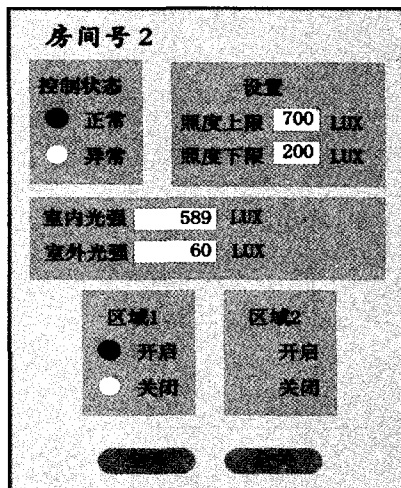


图 6 照明控制界面

5 结束语

文中设计实现了一种综合 IPv6 无线传感器网络和红外控制技术的新室内照明控制系统,该系统能够依据用户设置的亮度阈值、环境光强及现场人员位置,智能裁决并控制照明设备开关,并且支持用户远程监控系统工作状态。

文中详细介绍了系统的硬件结构和软件设计流程,着重分析了终端控制节点采用特定编码进行设备控制器的实现原理,并详细说明了功能验证的效果。该系统使照明控制智能化,有利于节约能源、延长照明设备使用寿命,并且管理方便、维护开销有限。本系统

具有很强的扩展性,可以大规模部网实现楼宇智能照明控制,也可以增加传感器类型进行其他设备的自动控制,因此该系统具有良好的发展前景,为物联网技术应用于智能建筑行业作出有益探索。

参考文献:

- [1] 张公忠. 物联网与智能建筑[J]. 智能建筑与城市信息, 2011(1):14-17.
- [2] 孙利民,李建中,陈渝,等. 无线传感器网络[M]. 北京:清华大学出版社,2005:5-10.
- [3] 储昭勋,胡艳军. 无线传感器网络技术[J]. 计算机技术与发展,2006,16(4):64-66.
- [4] 霍宏伟,张宏科,部帅,等. 一种 IPv6 无线传感器网络节点的设计与实现[J]. 计算机应用,2006,26(2):303-306.
- [5] 陈庆章,赵小敏,毛科技,等. 以无线传感器网络构建的照明节电系统的设计[J]. 机电工程,2010,27(3):1-3.
- [6] 彭东. 一种传感模块无线传感器网络新型节点的设计与实现[D]. 北京:北京交通大学,2009.
- [7] 田洪强,秦雅娟,郑涛,等. 无线传感器网络智能红外控制节点的实现[J]. 计算机应用,2010,30(9):2249-2252.
- [8] TEXAS INSTRUMENTS. CC2420 Datasheet[EB/OL]. 2007-05. <http://focus.ti.com/cn/lit/ds/symlink/cc2420.pdf>.
- [9] Lian Xiaoqin, Hu Jianbin, Zhang Xiaoli, et al. Design and Implementation of Indoor Environmental Monitoring Wireless Sensor[C]//2010 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering. [s.l.]:[s.n.], 2010.
- [10] 叶琳. 基于 Web 的远程监控信息管理系统的设计与应用[D]. 上海:上海交通大学,2009.
- [11] 周晓伟,蔡建平,郑增威,等. 新型室内照明智能控制系统的研究与实现[J]. 计算机应用研究,2009,26(8):2977-2981.

(上接第 229 页)

大量的信息资本。本课题只是其中的一个环节,而要想实现最终的决策支持,还必须继续在建设知识组织体系、研究型用户个性化工作空间的建设、策略的规范、版权研究以及对用户的使用情况进行统计分析等方面进行深入的研究。

参考文献:

- [1] 杜昌钰,龙飞. 基于 DSpace 少数民族资源信息系统构建[J]. 信息与电脑,2010(3):170-174.
- [2] 吴江华. 开放性档案信息系统:背景、职责及功能[J]. 图书情报知识,2006(5):85-87.
- [3] 王军. 基于成本分析的数字资源长期保存策略研究—迁移法与仿真法比较[J]. 图书情报知识,2006(1):74-77.
- [4] DSpace System Documentation[EB/OL]. [2007-07-05]. http://www.dspace.org/index.php?option=com_content.
- [5] DSpace System Documentation: Functional Overview—Data mode[EB/OL]. [2007-07-05]. http://www.dspace.org/index.php?option=com_content&task=view&id=149#data_model.
- [6] 蔡华利. 数字资产管理系统—DSpace 研究[J]. 情报科学,2006,24(9):1405-1408.
- [7] 孙常丽,付佳,石丹. DSpace 系统的应用现状简述[J]. 科技情报开发与经济,2008(21):79-80.
- [8] 杨武健,王学勤. DSpace 机构知识库系统的分析与研究[J]. 现代情报,2006(11):220-222.
- [9] 谢静,王军. DSpace 数字仓储简介及其应用分析[J]. 数字图书馆论坛,2007(9):18-25.
- [10] 王伟军. 基于 DSpace 的企业知识服务平台建设初探[J]. 信息系统,2008,31(9):920-923.
- [11] 张蓓,董丽,李新伟,等. 基于 Fedora 的数字资源管理方案的研究与实现[J]. 现代图书情报技术,2005,123(5):1-5.
- [12] 祝忠明. 基于 DSpace 构建学科知识库系统的研究与实践[J]. 数字图书馆,2006,139(7):10-14.